

FR2765342

The system for managing the operation of an electronic component, or a number of such components, includes use of a monitoring phase during which an initial supply voltage (114) is applied to the component. This voltage is less than the nominal operating voltage. During this phase the operation of the component is checked, whilst the component is subject to radiation.

- During a subsequent working phase, the nominal service voltage (112) is applied to the component, and then during an inoperative phase and off-load voltage is applied to the component. This latter voltage may be applied both during the inoperative phase, or following a period when defective operation has been detected for the component(s).

- ADVANTAGE - Enables safe operation of computer equipment in robots used in nuclear radiation areas, with components including MOS and CMOS circuitry..

4
①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :

2 765 342

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

97 08025

⑤1 Int Cl⁶ : G 01 R 31/27, G 05 F 3/24, G 01 R 31/317

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 26.06.97.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 31.12.98 Bulletin 98/53.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ETABLISSEMENT DE CARACT SCIENT TECH ET
INDUST — FR.

⑦2 Inventeur(s) : GIRAUD ALAIN et JOFFRE FRANCIS.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : BREVATOME.

⑤4 PROCÉDE ET DISPOSITIF DE GESTION DU FONCTIONNEMENT SOUS IRRADIATION D'UN COMPOSANT
ELECTRONIQUE A TRANSISTORS MOS COMPLEMENTAIRES.

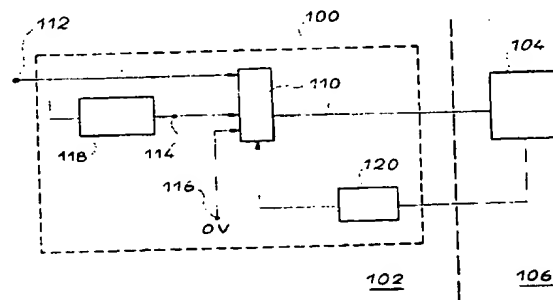
⑤7 Procédé et dispositif de gestion du fonctionnement
sous irradiation d'un composant électronique (104) ayant
une tension nominale d'alimentation, dans lequel :

- lors d'une phase de contrôle on applique au composant
(104) une tension initiale d'alimentation (114) inférieure à la
tension nominale et on vérifie le fonctionnement du compo-
sant,

- lors d'une phase dite de travail, on applique au compo-
sant la tension nominale d'alimentation (112), et

- lors d'une phase de repos, on applique au composant
une tension de repos (116).

Application à des calculateurs utilisés sous irradiation.



FR 2 765 342 - A1



PROCEDE ET DISPOSITIF DE GESTION DU FONCTIONNEMENT SOUS
IRRADIATION D'UN COMPOSANT ELECTRONIQUE A TRANSISTORS
MOS COMPLEMENTAIRES

5

DESCRIPTION

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé de
gestion du fonctionnement sous irradiation d'au moins
10 un composant électronique à transistors MOS (Metal
Oxyde Semiconducteur) complémentaires. Elle concerne
également un dispositif d'alimentation d'un tel
composant électronique et des systèmes incluant un ou
plusieurs de tels dispositifs.

15

Au sens de la présente invention, on entend par
composant électronique à transistors MOS
complémentaires ou CMOS, non seulement des composants
élémentaires individuels tels que des portes, des
inverseurs, comportant des transistors CMOS, mais aussi
20 des ensembles formés d'une pluralité de composants
élémentaires individuels, tels que des circuits, des
parties de circuits, des microprocesseurs ou des
calculateurs, comportant des transistors CMOS.

L'invention trouve des applications dans la
25 fabrication de dispositifs électroniques, tels que des
dispositifs de commande, utilisables dans une
atmosphère hostile de rayonnements ionisants, notamment
dans l'industrie du nucléaire civil. L'invention trouve
également des applications dans la réalisation de
30 dispositifs électroniques embarqués destinés à être
utilisés dans une atmosphère hostile de rayonnements
ionisants.

Etat de la technique antérieure

Le développement de systèmes électroniques utilisés dans l'industrie du nucléaire civil s'est
5 considérablement accru durant les années 1990.

Pour des raisons de coût, de délai et de législation, les composants spécifiquement conçus pour résister aux radiations ont été en grande partie
remplacés par des composants standard très largement
10 diffusés, en particulier par des composants de type CMOS (composants à transistors du type Metal-Oxyde-Semiconducteur Complémentaires).

Ainsi, en sélectionnant au préalable des composants dont la tenue aux radiations est bonne et en
15 respectant certaines règles de conception de l'architecture des systèmes, ces systèmes peuvent être utilisés avec des doses de rayonnements ionisants supérieures à 1 Mrad.

Des études actuellement menées montrent même
20 que la qualité croissante des procédés de fabrication des composants améliore de façon très significative leur tenue intrinsèque. Il n'en reste pas moins vrai que la versatilité des nouveaux composants rend difficile la maîtrise préalable de la tenue aux
25 radiations. Pour la plupart des applications embarquées, il est important de réagir préventivement à la perte de fonctionnalité d'un système électronique. Une perte de fonctionnalité peut en effet être la cause d'une dégradation importante des composants due à la
30 dose de rayonnement intégrée.

On considère qu'un composant est sujet à une perte de fonctionnalité soit lorsqu'il se trouve en

panne soit lorsque l'exécution des tâches qui lui sont assignées n'est pas exempte d'erreurs.

Si l'architecture d'un système électronique est conçue avec un certain nombre d'éléments ou de parties redondantes, il est possible de reconfigurer le système pour mettre en circuit de nouveaux éléments qui n'étaient pas sous tension et pour mettre hors circuit des éléments qui étaient sous tension. On peut se reporter à ce sujet, par exemple, au document (1) dont la référence est indiquée à la fin de la présente description.

Une telle reconfiguration permet ainsi d'éliminer du système de façon préventive, temporaire ou définitive les composants en panne ou susceptibles de provoquer une panne.

La reconfiguration d'un système électronique soumis à des rayonnements, lors de laquelle certains composants sont mis hors tension, permet d'éviter une dégradation trop importante des composants et même de "régénérer" ces derniers.

Il est en effet connu que les composants électroniques des micro-contrôleurs et particulièrement les composants du type MOS (Metal-Oxyde-Semiconducteur), soumis à des rayonnements ionisants, mais mis hors tension, peuvent récupérer, au moins en partie, leurs caractéristiques initiales, après avoir été dégradés lorsqu'ils étaient sous tension.

Le phénomène de régénération des composants hors tension, en présence de radiations, est dû à une évacuation des charges induites par les radiations et par un effet de compensation et de redistribution des charges. En particulier, dans les composants MOS, les trous migrent vers la zone d'interface oxyde-semi-

conducteur pour compenser les charges piégées dans la couche d'oxyde. On peut se reporter à ce sujet aux documents (2) et (3) dont les références sont indiquées à la fin de la présente description.

5 Pour envisager une reconfiguration d'un système électronique et anticiper les éventuelles pannes des composants, il est nécessaire d'établir une relation entre la dose de rayonnement ionisant reçue par les composants et la fonctionnalité du système.

10 Pour déterminer la dose de rayonnement reçue par les composants, il est connu de prendre en compte un décalage de la tension de seuil des composants CMOS.

 A titre d'exemple, un composant CMOS simple, tel qu'un inverseur de type 7404 peut être utilisé
15 comme dosimètre.

 Un inverseur de type 7404 se compose d'une paire de transistors NMOS et PMOS. Pour une tension d'alimentation du composant +Vcc donnée, le seuil de commutation de l'inverseur est de l'ordre de $V_{cc}/2$.
20 Lorsque le composant est soumis à des radiations, ce seuil diminue. Selon les conditions de polarisation pendant l'irradiation (polarisation haute) le seuil peut même devenir négatif.

 Il apparaît qu'en polarisation nulle, pendant
25 l'irradiation du composant, la tension de seuil de l'inverseur est une fonction relativement homogène de la dose reçue.

 Associé à un système électronique, un inverseur de type 7404 à composants MOS peut ainsi servir à
30 mesurer la dose de radiation reçue. On peut se référer à ce sujet au document (4) dont la référence est indiquée à la fin de la description.

Un autre paramètre utile pour mesurer l'irradiation est le courant de consommation des composants MOS complémentaires (CMOS). Le courant de consommation d'un composant CMOS augmente avec la dose de rayonnement reçue. Ceci est une conséquence d'un franchissement de la tension de seuil de 0 volt des transistors NMOS (MOS de type n). Le courant de fuite des transistors s'accroît en effet quand la tension de seuil est négative. Aussi, dans certains dispositifs, on utilise la mesure du courant de repos pour contrôler la dose de rayonnement ionisant reçue. On peut se reporter à ce sujet au document (5) dont la référence est indiquée à la fin de la présente description.

Il apparaît cependant que l'utilisation du paramètre du courant consommé par un composant traduit mal la disponibilité du composant ou du système électronique sur lequel ce courant est mesuré. En effet, l'intensité du courant reste sensible au débit de dose et ne montre pas l'influence d'une régénération du composant. Il est courant d'observer un accroissement rapide du courant consommé suivi d'une décroissance plus lente, sans pour autant que la disponibilité du ou des composants n'en soit affectée. Par ailleurs, le plus souvent les composants électroniques soumis à des radiations sont en mesure de fonctionner au-delà des caractéristiques fournies par le constructeur de ces composants.

Les dispositifs ou procédés de détermination de dose d'irradiation décrits ci-dessus permettent certes de signaler le dépassement de seuils critiques prédéterminés mais ne permettent pas de garantir le fonctionnement d'un système électronique pour une tâche donnée à accomplir dans un temps donné.

Ainsi, pour augmenter la fiabilité du fonctionnement d'un système électronique, on surdimensionne en général ce système. Une telle mesure a cependant des conséquences négatives sur le coût du système, sa complexité et son encombrement.

De plus, les moyens précédemment décrits ne tiennent pas compte du phénomène de régénération des composants, déjà évoqué.

10 Exposé de l'invention

L'invention a pour but de proposer un procédé et un dispositif pour la gestion du fonctionnement de composants électroniques ne présentant pas les limitations exposées ci-dessus.

15 Un but de l'invention est en effet de garantir le fonctionnement d'un composant ou d'une pluralité de composants électroniques pendant une durée déterminée, en tenant compte des rayonnements ionisants reçus par les composants pendant cette durée.

20 L'invention a également pour but la prise en compte de la capacité des composants à se régénérer lorsqu'ils ne sont pas sous tension.

Pour atteindre ces buts l'invention a plus précisément pour objet un procédé de gestion du fonctionnement sous irradiation d'au moins un composant électronique ayant une tension nominale d'alimentation V_{nom} , dans lequel :

25 - lors d'une phase dite de contrôle on applique au composant une tension initiale d'alimentation V_{init} inférieure à la tension nominale V_{nom} et supérieure ou
30 égale à une tension minimale de fonctionnement V_{min} , et on effectue une vérification du fonctionnement du composant, et

Ces mesures permettent d'obtenir un fonctionnement optimal du ou des composants en prenant en compte leur faculté de se régénérer pendant la phase de repos lors de laquelle une tension de repos, de préférence nulle, leur est appliquée. De plus, pour
5 tenir parfaitement compte de la régénération des composants, on peut déterminer la tension minimale de fonctionnement pendant ou juste après la phase de repos.

10 Selon un autre aspect de l'invention, on définit un procédé dans lequel :

- on détermine une tension minimale de fonctionnement V_{min} du composant sous irradiation puis
- on alimente le composant à une tension d'alimentation V_{alim} telle que $V_{min} + \Delta V \leq V_{alim} \leq V_{nom}$, pendant une phase de
15 travail dont la durée est déterminée en fonction de ΔV , ΔV étant une tension, puis
- on applique au composant une tension de repos pendant une phase de repos.

20 Ainsi, comme la tension d'alimentation est supérieure à la tension minimale de fonctionnement d'une quantité au moins égale à ΔV , le composant peut intégrer une dose d'irradiation, fonction de ΔV , sans perdre sa fonctionnalité. Le lien entre la différence
25 de tension ΔV et la dose d'irradiation admissible peut être établi de façon expérimentale.

L'invention a également pour objet un dispositif de contrôle d'alimentation d'au moins un composant électronique comportant :

- 30 - des moyens de contrôle du fonctionnement du composant électronique,
- une source de tension nominale d'alimentation,

- une source de tension de repos,
- une source de tension dite initiale, inférieure à la tension nominale, et
- des moyens de sélection pilotés par les moyens de
5 contrôle pour sélectivement appliquer au composant :
 - . la tension initiale lors d'une phase de contrôle,
 - . la tension nominale d'alimentation lors d'une phase de travail lorsque le fonctionnement du composant est correct pendant la phase de
10 contrôle,
 - . la tension de repos pendant une phase de repos, lorsque le fonctionnement du composant électronique est défectueux pendant la phase de contrôle.

15 Les moyens de sélection sont par exemple une porte électronique avec trois entrées reliées respectivement à la source de tension nominale à la source de tension de repos et à la source de tension initiale.

20 Les moyens de contrôle du bon fonctionnement du composant peuvent être des circuits de test aptes à effectuer des tests tels que, par exemple, des tests de "vie", des tests de "cohérence" ou des "autotests". Les moyens de contrôle peuvent aussi comporter des circuits
25 de type "chien de garde".

Les circuits de type "chien de garde" sont généralement prévus pour des composants tels qu'un microprocesseur. Le microprocesseur doit régulièrement appliquer au circuit "chien de garde" une impulsion de
30 signe de vie qui constitue une vérification de son bon fonctionnement.

L'invention concerne également un calculateur comprenant une pluralité d'unités de calcul redondantes

susceptibles de fonctionner tour à tour. Conformément à l'invention, chaque unité de calcul est équipée d'un dispositif de contrôle d'alimentation tel que décrit ci-dessus.

5 En particulier, chaque unité de calcul peut être un micro-contrôleur.

 Pour ordonner le fonctionnement à tour de rôle des unités de calcul, un tel micro-contrôleur peut être programmé pour piloter, lors de l'achèvement d'une phase de travail, la mise sous tension d'une autre
10 unité de calcul.

 De façon plus précise, chaque unité de calcul peut être programmée pour :

- 15 a) sélectionner une unité de calcul suivante lors de l'achèvement d'une phase de travail,
- b) commander les moyens de contrôle du dispositif de contrôle d'alimentation de ladite unité de calcul suivante pour initier une phase de contrôle et une phase de travail si le contrôle révèle un
20 fonctionnement correct,
- c) sélectionner une autre unité de calcul suivante si le contrôle révèle un fonctionnement défectueux.

 En tant que variante du système décrit ci-dessus, l'invention concerne également un système
25 électronique comportant une pluralité d'unités de calcul et un module électronique de supervision pour le fonctionnement à tour de rôle des unités de calcul. Dans ce système, le module de supervision comporte au
30 moins un dispositif de contrôle d'alimentation tel que décrit ci-dessus, associé à la pluralité d'unités de calcul.

L'invention a également pour objet un procédé de test d'un composant comprenant au moins un transistor de type CMOS, dans lequel :

- on fait fonctionner le composant en diminuant la tension d'alimentation du composant jusqu'à détecter un fonctionnement défectueux du composant,
- on relève la tension d'alimentation (V_{min}) du composant en-dessous de laquelle le fonctionnement défectueux se produit, et
- on compare cette tension d'alimentation à une tension nominale d'alimentation (V_{nom}) du composant pour établir une marge de tolérance de fonctionnement du composant sous irradiation.

La marge de tolérance de fonctionnement peut être comprise, par exemple, comme la différence entre la tension nominale et la tension en-dessous de laquelle un fonctionnement défectueux est observé. La marge de tolérance de fonctionnement constitue ainsi une information sur la qualité du composant, qui traduit son aptitude à fonctionner dans un milieu irradié.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, en référence aux figures des dessins annexés, donnée à titre purement illustratif et non limitatif.

Brève description des figures

- La figure 1 est un schéma simplifié illustrant un dispositif expérimental de mesure de la tension minimale de fonctionnement d'un composant électronique dans une zone irradiée.

- La figure 2 est un diagramme montrant une relation entre la tension minimale de fonctionnement

d'un composant alimenté continuellement, en fonction d'une dose d'irradiation reçue par ce composant.

- La figure 3 est un diagramme montrant une relation entre la tension minimale de fonctionnement d'un ensemble de composants électroniques identiques, en fonction d'une dose d'irradiation reçue par ces composants, les composants restant non alimentés pendant l'irradiation et étant remis sous irradiation après la mesure de la tension minimale de fonctionnement.

- La figure 4 est une représentation schématique simplifiée d'un dispositif de contrôle d'alimentation conforme à l'invention.

- La figure 5 est une représentation schématique simplifiée d'un calculateur électronique équipé de dispositifs de contrôle d'alimentation conformes à l'invention.

- La figure 6 est un système électronique d'unités de calcul équipé d'un dispositif de contrôle d'alimentation conforme à l'invention.

Description détaillée de modes de mise en oeuvre de l'invention

Avant la description proprement dite de dispositifs conformes à l'invention, il convient d'indiquer le fonctionnement d'un dispositif expérimental permettant de mesurer la tension minimale de fonctionnement V_{\min} d'un composant. Cette tension constitue en effet un paramètre utile pour la mise en oeuvre de l'invention.

A cet effet, la figure 1 donne un exemple d'un dispositif de mesure automatique de la tension minimale.

Le dispositif comporte un champ de mesure 10 avec une zone 12 d'irradiation et une zone 14, dite protégée, dans laquelle l'irradiation est négligeable.

Un composant 16, par exemple une carte de circuits imprimés ou un microprocesseur, dont on veut connaître la tension minimale de fonctionnement, est disposé dans la zone d'irradiation 12 pour y être soumis à un rayonnement ionisant déterminé.

Le composant 16 est relié d'une part à un dispositif d'alimentation contrôlé 18, disposé hors du champ de mesure 10, et, d'autre part, à un système électronique logique de contrôle 20 de son bon fonctionnement. Le système logique de contrôle 20 est disposé dans la zone protégée 14 pour ne pas subir l'irradiation. Il est destiné à effectuer un certain nombre de tests permettant de vérifier la fonctionnalité du composant qui y est relié.

Par ailleurs, le système logique de contrôle 20 est équipé d'un logiciel de dialogue et d'un port d'échange d'information 22 par lequel il est relié à une unité de contrôle telle qu'un micro-ordinateur personnel 24.

Le micro-ordinateur personnel est également relié au dispositif d'alimentation contrôlé 18 afin de piloter et faire varier la tension d'alimentation appliquée au composant 16.

Selon un premier protocole expérimental, le composant 16, irradié, fonctionne en continu et dialogue avec l'unité logique de contrôle 20 qui vérifie son bon fonctionnement. Une tension nominale de 5 volts est tout d'abord appliquée au composant 16. Puis toutes les dix minutes environ, le dispositif d'alimentation est piloté pour déterminer la tension

minimale de fonctionnement. De façon pratique, la tension fournie au composant 16 est diminuée par pas de 0,1 volts jusqu'à la détection d'une perte de fonctionnalité par le système logique de contrôle 20.

5 La perte de fonctionnalité se traduit par le fait que des tests effectués par le système logique de contrôle 20 s'avèrent négatifs ou plus simplement par la perte de communication entre le micro-ordinateur 24 et le système logique de contrôle 20.

10 La figure 2 représente sous forme graphique l'évolution de la tension minimale de fonctionnement d'un microprocesseur de type OKI 80 C86, mesurée de la façon décrite ci-dessus.

 Pour établir les mesures représentées à la figure 2 le composant a été soumis à une irradiation de 15 100 Gy/h.

 Enfin, on note que, sur la figure 2, la dose de rayonnement reçue par le composant est reportée en abscisse, en échelle logarithmique et exprimée en Gray, 20 tandis que la tension minimale de fonctionnement est indiquée en ordonnée et exprimée en volt.

 L'analyse de la figure 2 montre clairement une augmentation de la tension minimale de fonctionnement au cours du temps, en fonction de l'augmentation de la 25 dose d'irradiation intégrée par le composant.

 Lors d'une autre série de mesures expérimentales, des micro-contrôleurs de type 68EM05C4EC ont été soumis à une irradiation de 60 Gy/h.

30 Cependant, les micro-contrôleurs n'étaient pas alimentés pendant l'irradiation et les mesures de tension minimales de fonctionnement ont été effectués pour des doses paliers en retirant les micro-contrôleurs de la zone d'irradiation.

Les résultats de mesure de tension minimale sont indiqués par la courbe de la figure 3.

Sur la figure 3 la dose reçue par un micro-contrôleur est reportée en abscisse et exprimée en Gray tandis que la tension minimale de fonctionnement en volt est indiquée en ordonnée.

On peut également noter en examinant la figure 3 que la tension minimale de fonctionnement augmente avec la dose d'irradiation intégrée par le composant.

Le fait de ne pas alimenter les composants pendant l'irradiation leur permet d'être dans les conditions les plus favorables, et ainsi de supporter des doses d'irradiation plus élevées. Une telle étude permet d'effectuer une première sélection des composants pour leur résistance à l'irradiation.

La figure 4 représente schématiquement un dispositif de contrôle d'alimentation conforme à l'invention.

Le dispositif de contrôle d'alimentation est indiqué avec la référence générale 100. Il est relié à un composant électronique 104, disposé généralement dans une zone irradiée 106, pour l'alimenter en énergie électrique.

Le dispositif 100 comporte un circuit de sélection 110 à commutateurs permettant de relier sélectivement le composant électronique 104 à une source de tension nominale 112, une source de tension 114 dite initiale et à une source de tension de repos 116.

La source de tension initiale est fournie par un circuit abaisseur de tension 118 connecté à la source de tension nominale 112.

202b pour transmettre et recevoir des données véhiculées sur un bus d'entrée et de sortie 204.

Le bus 204 permet d'échanger des informations avec des équipements périphériques ou avec une mémoire centrale 206 également munie d'une interface 207 d'entrée et de sortie.

On note également que chaque unité de calcul est équipée d'un circuit électronique de surveillance du type "chien de garde" 208a, 208b et d'une unité de contrôle 210a, 210b.

Le circuit électronique de surveillance 208a, 208b est respectivement relié à l'unité de calcul 200a, 200b correspondante qui doit continuellement lui communiquer des signaux caractéristiques de son fonctionnement. Dans cette application, les circuits de surveillance 208a, 208b jouent sensiblement le rôle des moyens de contrôle 120 (figure 4) décrits ci-dessus.

De la même façon, l'unité de contrôle 210a et 210b associée chaque unité de calcul joue sensiblement le rôle du circuit de sélection 110 de la figure 4.

L'unité de contrôle 210a, 210b est pilotée non seulement par le circuit de surveillance 208a et 208b correspondant, qui vérifie le bon fonctionnement de l'unité de calcul associée, mais également par l'unité de calcul elle-même qui peut piloter sa mise hors tension.

On peut enfin noter que les unités de calcul sont respectivement alimentées par l'intermédiaire des unités de contrôle et des circuits de surveillance, reliés à une ligne commune d'alimentation 212.

Finalement, l'unité de contrôle et le circuit de surveillance associés à chaque micro-contrôleur

forment conjointement un dispositif de contrôle d'alimentation tel que représenté à la figure 4.

Pour expliquer le fonctionnement du calculateur de la figure 5, on considère que, dans un premier temps, le premier micro-contrôleur de la première unité de calcul 200a est en fonctionnement tandis que les micro-contrôleurs des autres unités de calcul sont au repos.

Dans ce cas, le premier micro-contrôleur gère le fonctionnement du calculateur. Lorsque sa phase de travail est achevée, il "réveille" un deuxième micro-contrôleur. Le deuxième micro-contrôleur est alors alimenté avec une tension d'alimentation initiale inférieure à la tension d'alimentation nominale et est soumis à un ou plusieurs tests de contrôle en association avec le circuit de contrôle 208b pour vérifier sa fonctionnalité.

Si le bon fonctionnement est vérifié, le deuxième micro-contrôleur est ensuite alimenté à sa tension nominale. Un transfert des données de travail a lieu entre les micro-contrôleurs. Puis, le deuxième micro-contrôleur entame une phase de travail, tandis que le premier micro-contrôleur retourne à une phase de repos où il n'est pas alimenté.

Si, par contre, le bon fonctionnement du deuxième micro-contrôleur n'est pas vérifié, celui-ci reste en phase de repos et le premier micro-contrôleur "réveille" un autre micro-contrôleur.

Un tel fonctionnement permet, compte tenu de la faculté des composants à se régénérer lorsqu'ils sont hors tension, d'accroître la disponibilité des calculateurs.

La figure 6 montre un autre système électronique équipé d'unités de calcul et d'un dispositif de contrôle d'alimentation conforme à l'invention.

5 Le système de la figure 6 comporte une pluralité d'unités de calcul référencées 300-1, ..., 300-n. Toutes les unités de calcul sont reliées à un bus 302 d'entrée et de sortie d'informations.

Le système comporte également un module électronique de supervision 304 fonctionnant conformément à l'invention et assurant la mise sous tension successive à tour de rôle d'une ou de plusieurs unités de calcul.

10 Un bus de contrôle 306 relie le module de supervision aux unités de calcul. Par l'intermédiaire du bus 306, le module de supervision effectue dans des phases de contrôle correspondantes, des vérifications de la fonctionnalité des unités de calcul.

20 Lors des phases de contrôle une tension initiale V_{init} est appliquée aux unités de calcul de la façon décrite ci-dessus.

Le module de supervision 304 est également conçu pour mesurer et mémoriser la tension minimale de fonctionnement de chaque unité de calcul qui y est
25 reliée.

Le module de supervision 304 est relié électriquement à chaque unité de calcul 300-1, ..., 300-n par des liaisons électriques 308 pour y appliquer une tension d'alimentation contrôlée conformément à
30 l'invention.

Enfin, le module 304 est programmé pour ajuster individuellement pour chaque unité de calcul 300-1, ..., 300-n un rapport de la durée de la phase de

travail sur la durée de la phase de repos en fonction d'une différence de tension entre la tension nominale d'alimentation et la tension minimale d'alimentation de cette unité de calcul.

5

DOCUMENTS CITES

(1)

Calculateurs durcis embarqués pour la robotique nucléaire

10

Rad-Hard embedded computer for nuclear robotics
de A. Giraud et al., pages 43 à 47 (actes du
Congrès RADECS 1993)

(2)

FR-A-2 721 122

15

(3)

FR-A-2 663 160

(4)

Handbook of radiation effects de Andrew Holmes-
Siedle/Lens Adams, Oxford Science Publications,
pages 110 à 113

20

(5)

Total-Dose Issues for Microelectronics in Space
Systems de Ronald L. Pease. IEEE Transactions on
Nuclear Science, vol. 43, n°2, April 1996, pages
442 à 450.

25

REVENDICATIONS

1. Procédé de gestion du fonctionnement sous irradiation d'au moins un composant électronique comportant au moins un transistor de type MOS complémentaire (104, 202a, 202b, 300-1, ..., 300-n) et
5 ayant une tension nominale d'alimentation (V_{nom}), dans lequel :

- lors d'une phase dite de contrôle on applique au composant (104, 202a, 202b, 300-1, ..., 300-n) une
10 tension initiale d'alimentation (V_{init}) inférieure à la tension nominale et supérieure ou égale à une tension minimale (V_{min}) de fonctionnement et on effectue une vérification du fonctionnement du composant, et
- 15 - lors d'une phase dite de travail, engagée lorsque la vérification a révélé un fonctionnement correct du composant, on applique au composant une tension d'alimentation de travail (V_{allm}) supérieure à la tension d'alimentation initiale.

20 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, en outre, lors d'une phase dite de repos, engagée soit lorsque la phase de travail est achevée, soit lorsque la vérification a révélé un fonctionnement défectueux, on applique au composant une tension de
25 repos.

3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la tension d'alimentation de travail est sensiblement égale à la tension nominale.

4. Procédé selon la revendication 3, dans
30 lequel on détermine une différence de tension ΔV permettant de maintenir un fonctionnement correct du composant (104, 202a, 202b, 300-1, ..., 300-n) pour une

dose d'irradiation déterminée et on établit la tension initiale V_{init} selon la formule suivante :

$$V_{init} = V_{nom} - \Delta V.$$

5 5. Procédé selon la revendication 4, dans lequel la phase de travail présente une durée déterminée en fonction de la différence de tension ΔV .

6. Procédé selon la revendication 1 dans lequel on détermine pour chaque composant électronique la tension minimale de fonctionnement sous irradiation
10 (V_{min}) et on ajuste un rapport de la durée de la phase de travail par rapport à la durée de la phase de repos en fonction de ladite tension minimale de fonctionnement.

7. Procédé selon la revendication 6, dans
15 lequel on ajuste la durée de la phase de travail et de la phase de repos en fonction d'une différence entre la tension nominale et la tension minimale.

8. Procédé selon la revendication 6, dans lequel on détermine la tension minimale de
20 fonctionnement pendant la phase de repos.

9. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la tension de repos est la tension nulle ou une tension faible.

10. Procédé de gestion selon la revendication
25 1, dans lequel :

- on détermine une tension minimale de fonctionnement V_{min} du composant sous irradiation puis
- on alimente le composant à une tension d'alimentation V_{alim} telle que $V_{min} + \Delta V \leq V_{alim} \leq V_{nom}$, pendant une phase de
30 travail dont la durée est déterminée en fonction de ΔV , où ΔV est une tension, puis

- on applique au composant une tension de repos pendant une phase de repos.

11. Dispositif (100) de contrôle d'alimentation d'au moins un composant électronique avec au moins un transistor de type CMOS, comportant :

- des moyens (120, 208a, 208b, 304) de contrôle du fonctionnement du composant électronique,
- une source (112) de tension nominale d'alimentation,
- une source (116) de tension de repos,
- 10 - une source (114) de tension dite initiale inférieure à la tension normale, et
- des moyens de sélection (110, 210a, 210b) pilotés par les moyens de contrôle pour sélectivement appliquer au composant :
- 15 . la tension initiale lors d'une phase de contrôle,
- . la tension nominale d'alimentation lors d'une phase de travail lorsque le fonctionnement du composant est correct pendant la phase de contrôle,
- 20 . la tension de repos pendant une phase de repos, lorsque le fonctionnement du composant électronique est défectueux pendant la phase de contrôle.

12. Dispositif selon la revendication 11, dans lequel les moyens de contrôle (120, 208a, 208b) comportent au moins un circuit de type "chien de garde".

13. Dispositif selon la revendication 11, dans lequel la source de tension initiale comporte un abaisseur de tension (118) relié à la source de tension nominale.

14. Calculateur comprenant une pluralité d'unités de calcul (200a, 200b) redondantes

susceptibles de fonctionner tour à tour, caractérisé en ce que chaque unité de calcul est équipée d'un dispositif de contrôle d'alimentation conforme à la revendication 11.

5 15. Calculateur selon la revendication 14, dans lequel chaque unité de calcul comporte un micro-contrôleur apte à piloter lors de l'achèvement d'une phase de travail la mise sous tension d'une autre unité de calcul.

10 16. Calculateur selon la revendication 14, dans lequel chaque unité de calcul est programmée pour :
a) sélectionner une unité de calcul suivante lors de l'achèvement d'une phase de travail,
b) commander les moyens de contrôle (208a, 208b) du
15 dispositif de contrôle d'alimentation de ladite unité de calcul suivante pour initier une phase de contrôle et une phase de travail si le contrôle révèle un fonctionnement correct,
c) sélectionner une autre unité de calcul suivante si le
20 contrôle révèle un fonctionnement défectueux.

 17. Système électronique comportant une pluralité d'unités de calcul (300-1, ..., 300-n) et un module électronique de supervision (304) pour le fonctionnement à tour de rôle des unités de calcul,
25 dans lequel le module de supervision comporte au moins un dispositif de contrôle d'alimentation conforme à la revendication 11, associé à la pluralité d'unités de calcul.

 18. Système selon la revendication 17, dans
30 lequel chaque unité de calcul est reliée au dispositif de supervision par un bus d'échange de données (306) pour contrôler son bon fonctionnement et par une liaison électrique pour son alimentation électrique.

19. Système selon la revendication 18, dans lequel le module de supervision (304) comporte des moyens pour déterminer une tension minimale de fonctionnement de chaque unité de calcul (300-1, ..., 300-n) et est apte à ajuster un rapport de la durée de phase de travail sur la durée de la phase de repos de chaque unité de calcul en fonction de la tension minimale de fonctionnement de cette unité.

20. Procédé de test d'un composant comprenant au moins un transistor de type CMOS, dans lequel :

- on fait fonctionner le composant, en diminuant la tension d'alimentation du composant jusqu'à détecter un fonctionnement défectueux du composant,
- on relève la tension d'alimentation (V_{min}) du composant en-dessous de laquelle le fonctionnement défectueux se produit, et
- on compare cette tension d'alimentation à une tension nominale d'alimentation (V_{nom}) du composant pour établir une marge de tolérance de fonctionnement du composant sous irradiation.

1/3

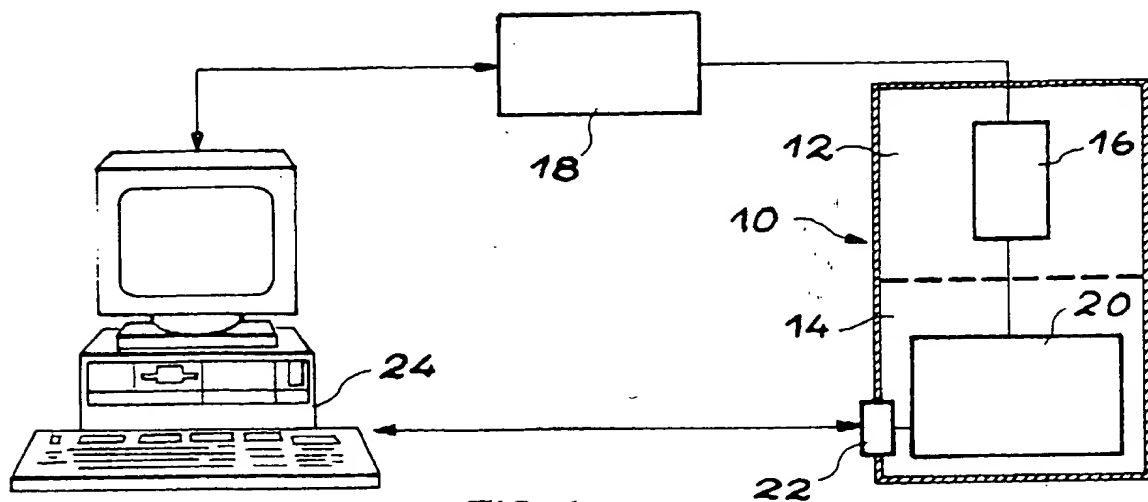


FIG. 1

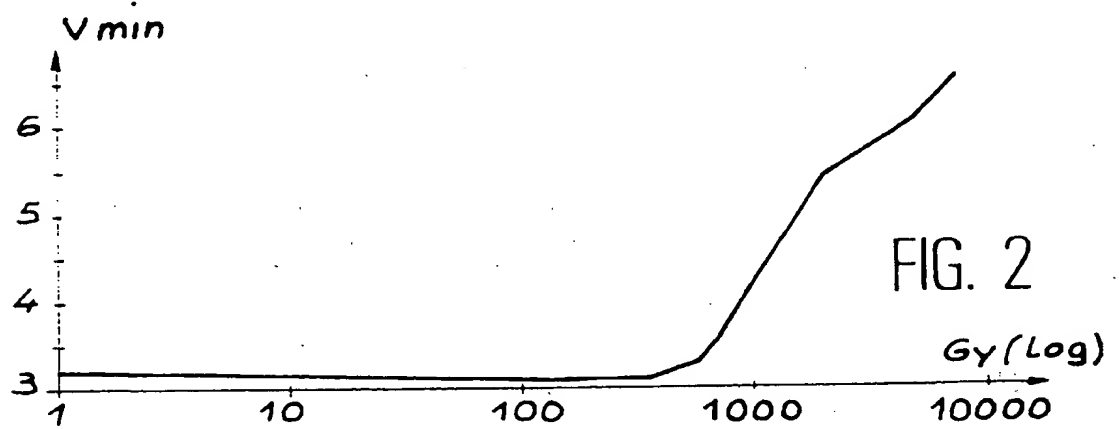


FIG. 2

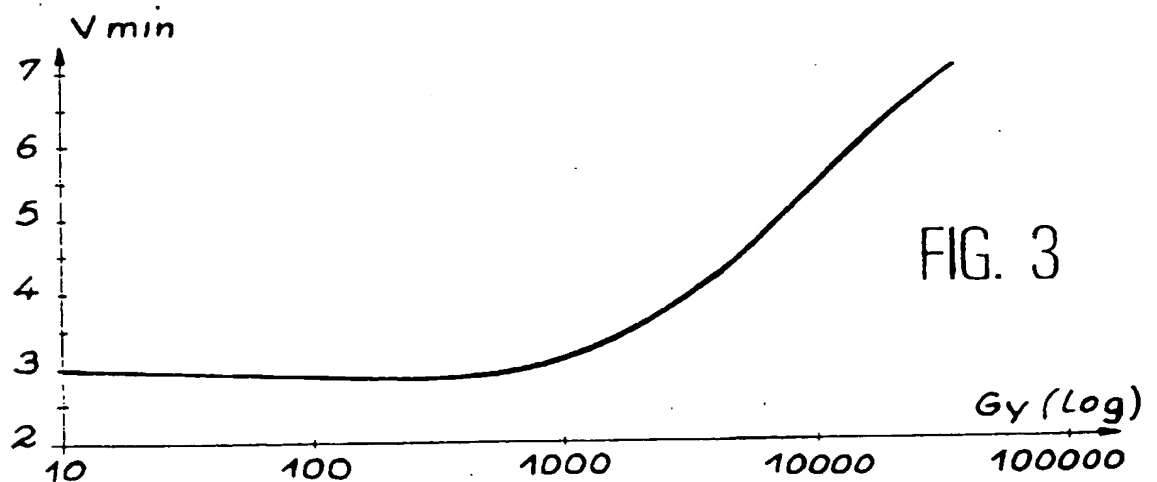


FIG. 3

2/3

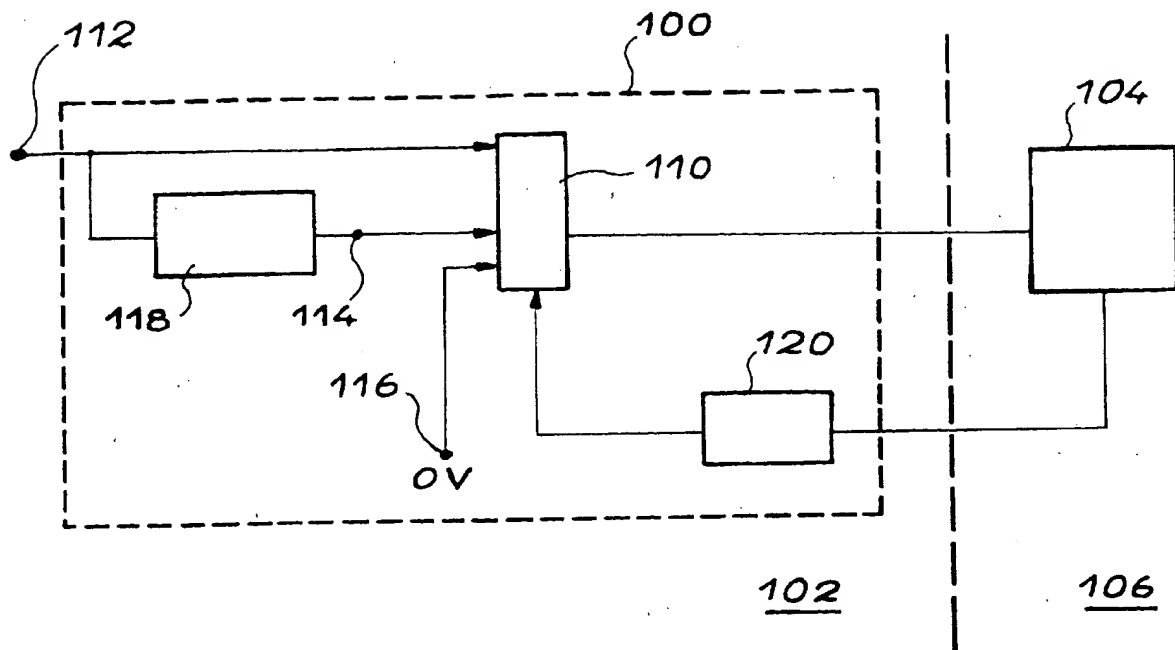


FIG. 4

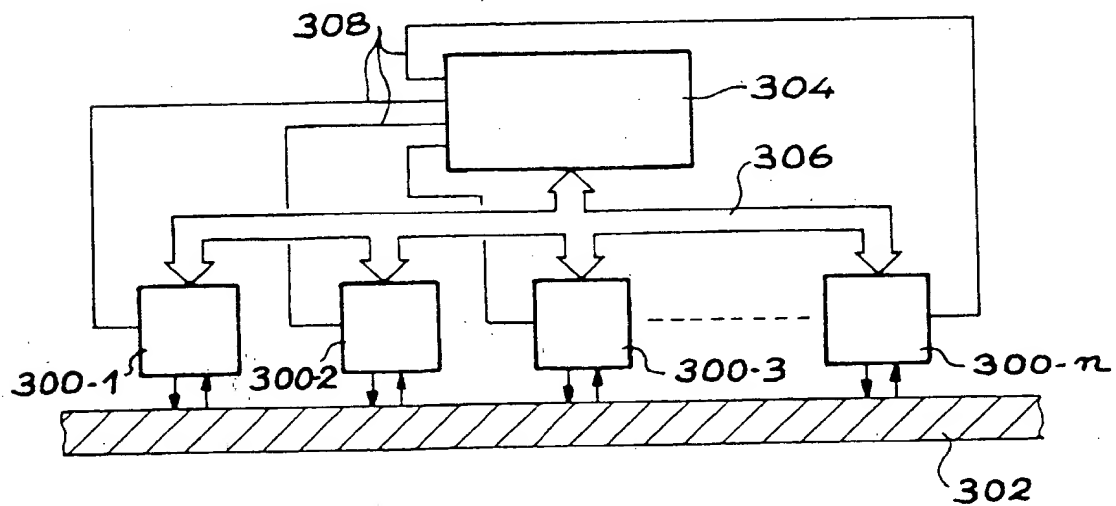


FIG. 6

3 / 3

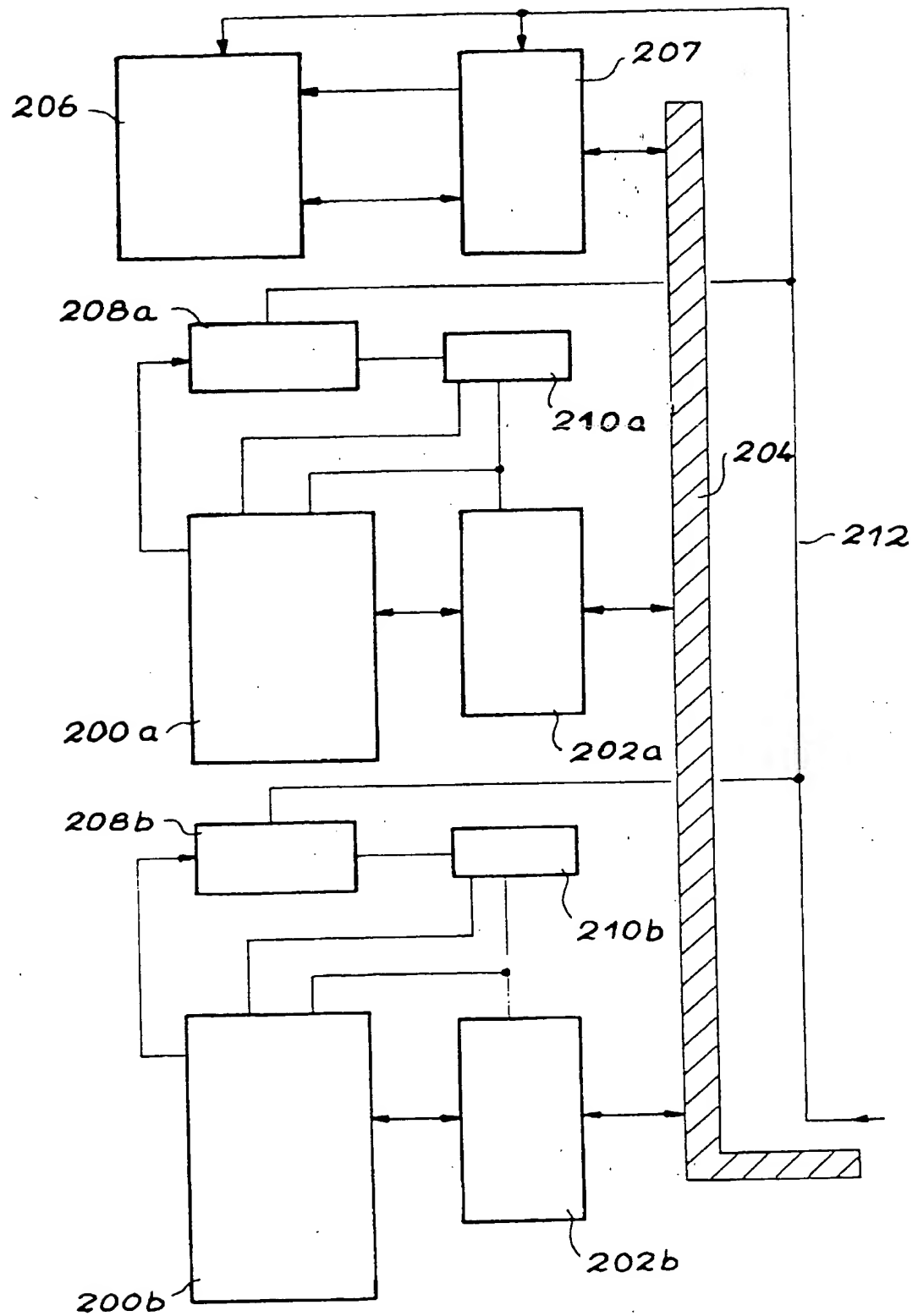


FIG. 5

INSTITUT NATIONAL

de la

PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE

PRELIMINAIRE

établi sur la base des données revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 551089

FR 9708025

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A,D	GIRAUD A ET AL: "Rad-hard embedded computers for nuclear robotics" RADECS 93. SECOND EUROPEAN CONFERENCE ON RADIATION AND ITS EFFECTS ON COMPONENTS AND SYSTEMS (CAT. NO.93TH0616-3), PROCEEDINGS OF 2ND EUROPEAN CONFERENCE RADIATIONS AND THEIR EFFECTS ON DEVICES AND SYSTEMS (RADECS 93), ST. MALO, FRANCE, 13-16 SEPT. 1, ISBN 0-7803-1793-9, 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, USA, pages 43-47, XP002061045 * le document en entier *	1
A,D	FR 2 721 122 A (GALY RICHARD ET AL) 15 décembre 1995 * abrégé *	1
A,D	EP 0 461 982 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 18 décembre 1991 * abrégé *	1
A,D	PEASE R L: "Total-dose issues for microelectronics in space systems" IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, APRIL 1996, IEEE, USA, vol. 43, no. 2, pt.1, ISSN 0018-9499, pages 442-452, XP002061046 * abrégé *	1
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		H02H H03K G06F
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
1 avril 1998		Libberecht, L
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intermédiaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1503 03.92 (P04C13)

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLERAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIREétabli sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la rechercheFA 551089
FR 9708025

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	SHUMAKE D P ET AL: "Hardened CMOS/SOS LSI circuits for satellite applications" IEEE ANNUAL CONFERENCE ON NUCLEAR AND SPACE RADIATION EFFECTS, WILLIAMSBURG, VA, USA, 12-15 JULY 1977, vol. ns-24, no. 6, ISSN 0018-9499, IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, DEC. 1977, USA, pages 2177-2180, XP002061047 * page 2179 * -----	1
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
1 avril 1998		Libberecht, L
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		

EPO FORM 1503 (03.82 (P4C13))

